

文章编号:1000-8551(2008)06-770-06

^{60}Co γ 射线辐照毛竹种子的细胞学诱变效应

王新新¹ 高 健² 杨培浩¹ 周立人¹(1. 安徽农业大学生命科学学院,安徽 合肥 230036;2. 国际竹藤网络中心,
国家林业局竹藤科学与技术重点开放实验室,北京 100102)

摘 要:利用 6 种不同剂量的 ^{60}Co γ 射线辐照毛竹种子,研究 γ 射线辐照对毛竹种子根尖细胞有丝分裂、染色体畸变及核畸变的影响。结果表明,在一定范围内,剂量低于 60Gy 的辐照对毛竹根尖细胞有丝分裂有促进和刺激效应;高于 90Gy 对毛竹根尖细胞有丝分裂有一定的抑制作用。同时,辐照还能诱发染色体畸变和核畸变,出现染色体桥、落后染色体(团)、游离染色体(团)、染色体断片、染色体粘连、微核、小核、双核、核出芽、核耳和核裂等类型。染色体畸变率、核畸变率与剂量间存在显著的正相关,相关系数分别为 0.8875、0.9982,线性方程式分别为 $Y = 0.0392X - 0.4313$, $Y = 0.0530X - 0.0783$;染色体畸变率与微核率间也存在着较好的相关性,线性表达式为 $Y = 0.8836X - 0.4525$,相关系数为 0.8345, $F = 25.22 > F_{0.01}$ 。

关键词:毛竹种子; ^{60}Co γ 射线辐照;染色体畸变;核畸变;有丝分裂

CYTOLOGICAL EFFECTS INDUCED BY ^{60}Co γ -IRRADIATION ON MOSO SEED

WANG Xin-xin¹ GAO Jian² YANG Pei-hao¹ ZHOU Li-ren¹(1. School of Life Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036;
2. International Center for Bamboo and Rattan, Key Laboratory of Science
and Technology of Bamboo and Rattan, State Forestry Administration, Beijing 100102)

Abstract: In this experiment, Moso seeds were irradiated by different doses of ^{60}Co γ rays and the effects on chromosomal aberration, nuclear aberration and mitosis of the root tip cells of were studied. The results indicated that γ -rays irradiation with lower doses could promote and stimulate mitosis of root tip cells, and with high doses could inhibit mitosis of root tip cell. Furthermore, γ -rays irradiation could induce many types of chromosomal and nuclear aberration, such as chromosome bridges, chromosome fragment, laggard chromosome (clump), free chromosome (clump), chromosome conglutination, micronucleus, minornucleus, double nucleus, nuclear budding, nuclear bleb, nuclear fragmentation and so on. The relationship between dosages and frequencies of chromosomal and nuclear aberration of root tip cells was fitted in the model of $Y = 0.0390X - 0.3756$, $Y = 0.0530X - 0.0783$, respectively. The correlation coefficient was 0.8934 and 0.9982. The relationship between frequency of chromosomal aberration and frequency of Moso micronucleus of root tip cell was fitted in with the model $Y = 0.8836X - 0.4525$. The correlation coefficient was 0.8345, $F = 25.22 > F_{0.01}$.

Key words: Moso seed; ^{60}Co γ -rays irradiation; chromosome aberration; nuclear aberration; mitosis

收稿日期:2008-06-17 接受日期:2008-06-17

基金项目:国家“十一五”林业科技支撑计划项目(2006BAD19B0203)

作者简介:王新新(1984-),女,山东济宁人,硕士研究生,主要研究方向为植物细胞遗传学。E-mail:sdwx1022@163.com

通讯作者:高健(1966-),女,安徽五河人,博士,研究员,主要研究方向林木遗传育种。E-mail:gaojian@icbr.ac.cn

毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 属于禾本科 (Gramineae) 竹亚科 (Bambusoideae) 倭竹族 (Shibataeae) 刚竹属 (*Phyllostachys*) 的散生竹种, 是我国最重要的一种竹类资源, 具有速生丰产、再生能力强、用途广泛、经济价值高和可持续更新等特点, 在我国竹产业发展中占有重要的地位^[1,2]。随着竹产业和竹产品市场的迅猛发展, 对优良的竹种质、高效选育技术、高附加值产品开发、竹活性物质综合利用等方面都提出了更高的要求, 迫切需要强有力的科技支撑。

辐射诱变育种是创造新种质、选育新品种的有效途径之一, 具有突变率高、突变谱宽、突变性状稳定快、育种周期短等优点, 且方法简便, 可在短时间内改变植物的某一性状^[3]。通过辐照诱发新变异类型, 已成为当代植物改良和作物育种的一种重要手段, 而 ^{60}Co γ 射线辐照又因能获得较高的突变率和较宽的突变谱, 有利于筛选新的突变类型而成为人工诱变常用的手段^[4-6]。近年来, 现代生物技术应用到竹子育种中, 在组织培养、试管苗诱导开花、转基因育种等^[7]方面有一定进展, 但总体上竹子遗传育种仍处于较低水平, 辐照竹类植物的研究和报道甚少。因而, 本试验利用辐照诱变技术, 以不同剂量的 ^{60}Co γ 射线辐照毛竹种子, 研究毛竹根尖细胞染色体畸变、核畸变及细胞分裂的诱变效应, 了解 γ 射线辐照对生物遗传物质的损伤, 从细胞学角度探讨其诱变机理, 为竹子辐射育种提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试毛竹种子于 2007 年 9 月收获于广西省临桂县。采后通风干燥并于 4℃ 冰箱中塑料袋封存。辐照处理时种子的平均含水量为 10.3%。

1.2 试验方法

1.2.1 辐照处理 将毛竹干种子 100g 分装入牛皮纸袋内, 在合肥国家林业辐照中心进行 ^{60}Co γ 射线辐照处理, 剂量分别为 30、60、90、120、150 和 180Gy, 剂量率为 1.86Gy/min。以未处理的种子为对照。

1.2.2 细胞学观察 将对照 (CK) 和辐照后的种子浸种 24h, 然后用 5% 次氯酸钠溶液处理 30min, 置于人工气候箱 (26℃) 发芽培养^[8], 待根尖长至 1.0~1.2 cm 时, 于 14:00 左右剪根 (预试验发现此时分裂细胞多处于有丝分裂末期)。取材后在对二氯苯饱和溶液中处理 3h, 转移至 Carnoy's 固定液固定, 用改良苯酚品红染色。切取根尖生长点 1~2mm 左右组织, 架刀片敲

碎法制片, 电热板烤片。在高倍镜下观察根尖细胞有丝分裂细胞数、染色体畸变和核畸变类型, 并用 Olympus Vanox AH-1 万能研究显微镜显微摄影。每处理剂量 (包括对照) 统计 20 个根尖, 每个根尖观察统计 500 个左右细胞, 合计约 10000 个细胞, 用计数器计数。根据统计结果分别计算出根尖细胞的有丝分裂指数、核畸变率和染色体畸变率等。

1.3 数据处理与分析

采用 SAS 软件对获得的试验数据进行统计并作相关分析。细胞有丝分裂指数、染色体畸变率和微核率的计算公式如下:

有丝分裂指数 (%) = (有丝分裂细胞数 / 观察细胞数) \times 100% ;

染色体畸变率 (%) = (染色体畸变细胞总数 / 有丝分裂细胞数) \times 100% ;

微核率 (%) = (微核细胞数 / 观察细胞数) \times 100%。

2 结果与分析

2.1 γ 射线辐照对毛竹根尖细胞有丝分裂的影响

^{60}Co γ 射线辐照毛竹种子对根尖细胞有丝分裂的影响见表 1。表 1 显示, 辐照后, 大多数处理组根尖细胞有丝分裂指数高于对照组。在 30~90Gy 剂量范围内, 辐照对根尖细胞有丝分裂具有促进和刺激效应^[9], 表现为上升趋势, 在 90Gy 时达最高, 为 29.757%。但当剂量大于 90Gy 时, 有丝分裂指数随着剂量的增加明显下降。说明剂量过高, 引起细胞损伤, 抑制了细胞分裂。将不同剂量辐照下的根尖细胞有丝分裂指数进行拟合, 建立起辐照剂量 (X) 与根尖细胞有丝分裂指数 (Y) 的一元二次剂量效应方程: $Y = -0.00109X^2 + 0.19358X + 19.70095$, $R^2 = 0.9139$, $P = 0.0074$, $F = 21.22 > F_{0.01}$ 。

表 1 ^{60}Co γ 射线辐照种子对毛竹根尖细胞有丝分裂的影响

Table 1 Effect of ^{60}Co γ -irradiation on the mitosis of Moso root tip cell

辐照剂量 irradiation dose (Gy)	观察细胞数 No. of cell observed	有丝分裂 细胞数 No. of mitotic cells	有丝分裂指数 mitotic index (%)
0	10481	2109	20.122
30	10173	2429	23.877
60	10106	2692	26.638
90	10028	2984	29.757
120	10413	2903	27.879
150	10227	2285	22.343
180	10261	2033	19.813

2.2 γ 射线辐照诱发毛竹根尖细胞染色体畸变和核畸变的类型

2.2.1 染色体畸变类型 ^{60}Co γ 射线辐照可诱发多种染色体畸变类型(图1)。 γ 射线辐照毛竹种子后,其胚根根尖细胞有丝分裂中、后、末期出现染色体桥,单桥(图1-A,B)、双桥(图1-C,M)、多桥(图1-D)、落后染色体(团)(图1-F,I,M,N)、游离染色体(团)(图1-G,L)、微核((图1-H,I,J,K,O)、染色体断片(图1-J)和染色体粘连(图1-E,N,O)等畸变类型。低剂量(< 60Gy)辐照时主要以染色体桥和染色体断片为

主(图1-A,B,C,D,J),未出现落后染色体或游离染色体(图1-F,M,N,G),也没有染色体粘连现象(图1-E,N,O)。在大于90Gy的高剂量时,除了染色体桥和断片外,还有落后染色体和游离染色体出现(图1-F,M,N,G,)并随剂量的增大而增多。在120Gy时出现了落后染色体团和游离染色体团(图1-G,I)。150Gy和180Gy时出现染色体粘连(图1-E,N,O)及多种复合畸变类型,这些都表示了染色体的损伤程度随剂量的增大而加重。

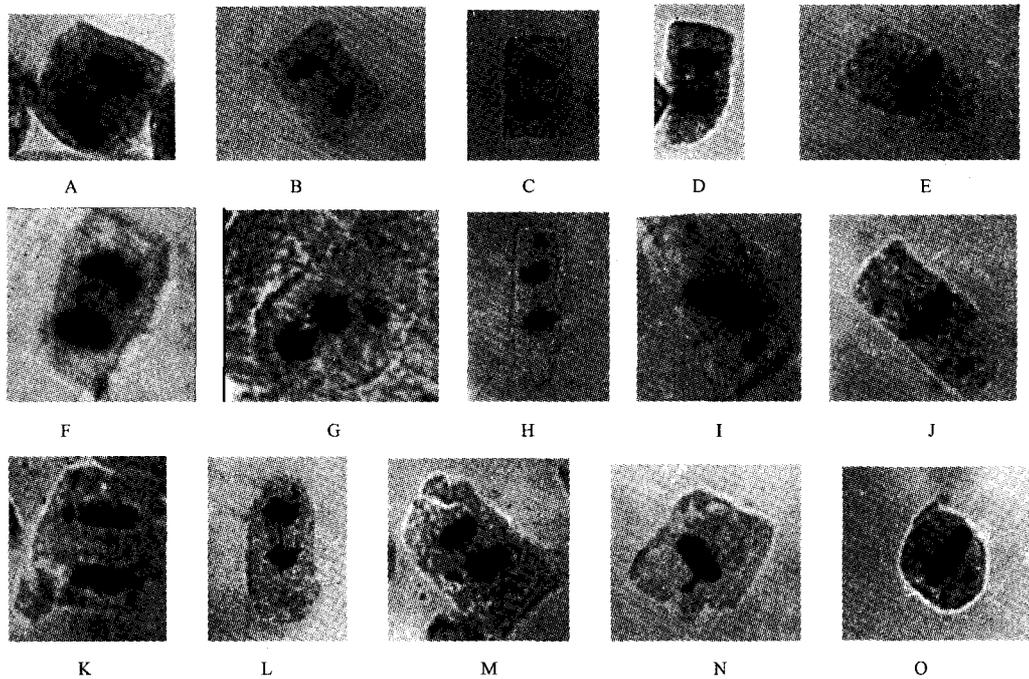


图1 ^{60}Co γ 射线辐照诱发毛竹根尖细胞染色体畸变类型($\times 200$)

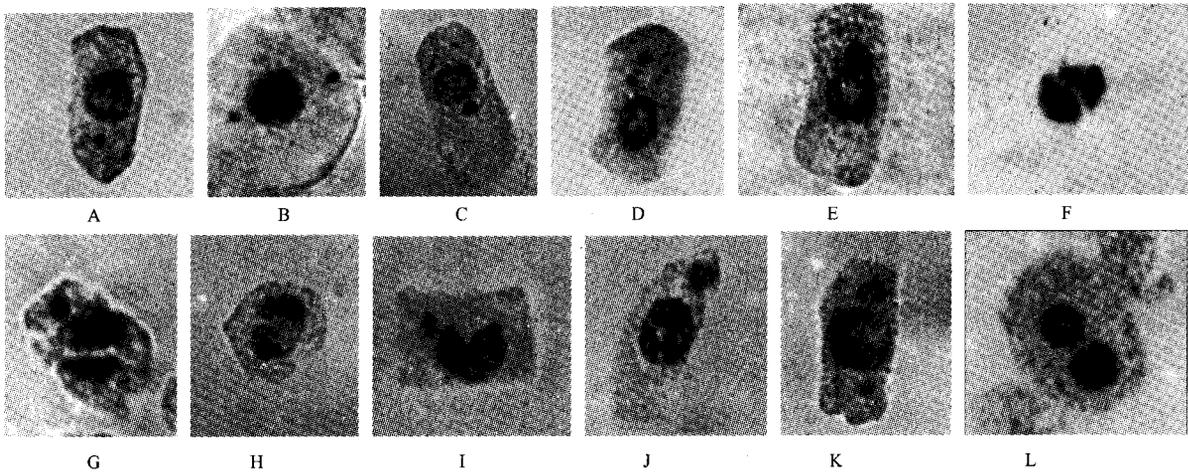
Fig.1 Types of chromosome aberration of Moso root tip cell induced by ^{60}Co γ -irradiation($\times 200$)

A: 染色体单桥; B: 染色体侧桥; C: 染色体双桥; D: 染色体多桥; E: 中期染色体粘连; F: 末期落后染色体; G: 游离染色体团; H: 末期微核; I: 中期落后染色体团 + 微核; J: 中期微核 + 断片; K: 染色体单桥 + 微核; L: 染色体单桥 + 游离染色体; M: 染色体双桥 + 落后染色体; N: 中期染色体粘连 + 落后染色体; O: 染色体粘连 + 双微核。

A: Single chromosome bridge; B: Side chromosome bridge; C: Double chromosome bridges; D: Chromosome multi-bridges; E: Metaphase chromosome conglutination; F: Telophase laggard chromosome; G: Free chromosome clump; H: Telophase micronucleus; I: Metaphase chromosome laggard clump + micronucleus; J: Metaphase micronucleus + chromosome fragments; K: Single chromosome bridge + micronucleus; L: Single chromosome bridge + free chromosome; M: Double chromosome bridges + laggard chromosome; N: Metaphase chromosome conglutination + laggard chromosome; O: Chromosome conglutination + double micronucleus.

2.2.2 核畸变类型 γ 射线辐照毛竹种子后,胚根根尖细胞有丝分裂间期出现多种核畸变类型,主要为微核(图2-A,B,C,D,I,K),其次为小核((图2-J,K)、双核(图2-L)、核出芽((图2-E)、核耳((图2-H,I)和核裂(图2-F,G)等。在微核细胞中,大多数以单微

核形式出现。在剂量高于90Gy时还出现多微核现象,数目不等。剂量大于120Gy时50%的微核细胞都具有2个以上的微核,同时还有核裂和核耳出现,此畸变类型是核严重损伤的标志。在高剂量辐照下核畸变也有复合畸变类型出现。

图2 ^{60}Co γ 射线辐照诱发毛竹根尖细胞核畸变类型($\times 200$)Fig.2 Types of nuclear aberration of Moso root tip cell induced by ^{60}Co γ -irradiation ($\times 200$)

A:单微核; B:双微核; C:单微核+染色体断片; D:双微核+染色体断片; E:核出芽; F:核裂; G:核裂+微核; H:核耳; I:核耳+微核; J:小核; K:小核+微核; L:双核细胞.

A: Single micronucleus; B: Double micronucleus; C: Single micronucleus + chromosome fragments; D: Double micronucleus + chromosome fragments; E: Nuclear budding; F: Nuclear fragmentation; G: Nuclear fragmentation + micronucleus; H: Nuclear bleb; I: Nuclear bleb + micronucleus; J: Minornucleus; K: Minornucleus + micronucleus; L: Double nucleus cell.

2.3 γ 射线辐照诱发毛竹根尖细胞染色体畸变和核畸变的剂量效应

2.3.1 染色体畸变的剂量效应 从表2可以看出,辐照诱发毛竹根尖细胞染色体的畸变率均高于对照组,并随着剂量的增加而递增。低剂量30Gy时,染色体畸变率为1.030,与60Gy时1.040的染色体畸变率的水平相近,由此可以看出,低剂量辐照在染色体变异水平上对根尖细胞也产生刺激效应。从60Gy到90Gy,染

色体畸变率增加1倍多。最高剂量180Gy时,染色体畸变率是对照组的12倍之多。辐照剂量与染色体畸变率呈正相关,并与各畸变类型之间也呈一定的线性关系。在染色体畸变类型中,无论低剂量还是高剂量,均以染色体桥和断片为主,其中染色体桥贡献最大,二者约占总畸变率的90%。拟合各畸变类型与剂量间的关系,可建立起畸变率与剂量间的相关方程(表3)。

表2 ^{60}Co γ 射线辐照对毛竹根尖细胞染色体畸变的影响Table 2 Effects of ^{60}Co γ -irradiation on chromosome aberration of Moso root tip cell

染色体畸变类型 chromosome aberrant types	剂量 dose(Gy)						
	0	30	60	90	120	150	180
观察细胞总数 total number of cells	2109	2429	2692	2984	2903	2285	2033
落后率 rate of laggard (%)	0	0	0	0.034	0.138	0.350	0.492
染色体桥率 rate of chromosome bridges (%)	0.569	0.783	0.706	1.810	2.617	4.114	5.706
单桥率 rate of single bridge (%)	0.427	0.618	0.483	1.408	2.032	3.239	4.525
双桥率 rate of double bridges (%)	0.142	0.165	0.223	0.335	0.482	0.656	0.787
多桥率 rate of multi-bridges (%)	0	0	0	0.067	0.103	0.219	0.394
断片率 rate of fragment (%)	0.047	0.247	0.297	0.402	0.551	0.919	1.426
游离率 rate of free chromosome (%)	0	0	0.037	0.067	0.069	0.088	0.246
落后染色体团 chromosome laggard clump	-	-	-	-	+	+	+
游离染色体团 free chromosome clump	-	-	-	-	+	+	+
染色体粘连 chromosome conglutination	-	-	-	-	-	+	+
染色体总畸变率 rate of total aberrant types (%)	0.616	1.030	1.040	2.313	3.375	5.471	7.870

表3 染色体畸变率(Y)与辐照剂量(X)间相关方程

Table 3 Correlation equation between rate of chromosome aberration(Y) and irradiation dose(X)

畸变类型 type of aberration	方程 equation	相关系数(R^2) correlation coefficient	F 值 F value
染色体畸变 chromosome aberration	$Y = 0.0392X - 0.4313$	0.8875	39.44
染色体桥 chromosome bridge	$Y = 0.0286X - 0.2404$	0.8907	40.75
染色体断片 chromosome fragment	$Y = 0.0068X - 0.0589$	0.8805	36.85
落后染色体 laggard chromosome	$Y = 0.0028X - 0.1031$	0.8039	20.50
游离染色体 free chromosome	$Y = 0.0011X - 0.0289$	0.7581	15.67

2.3.2 核畸变的剂量效应 表4列出了 γ 射线辐照后毛竹根尖细胞有丝分裂间期核畸变率。从表4可以看出,所有辐照处理的核畸变率均高于对照组,且随剂量的增加而升高。最高剂量180Gy与最低剂量30Gy的核畸变率相差6倍之多。核畸变率与辐照剂量间呈正相关。在各核畸变类型中,微核出现频率最高,超过总畸变率的80%,且随着剂量的增加,微核率不断增

加,最高剂量180Gy时,微核率比最低剂量30Gy增加了5倍之多,这充分反映了不同剂量辐照对细胞核遗传物质的损伤,且剂量越大损伤越重。本试验结果再次支持了“微核是衡量辐射对染色体损伤的可靠指标^[10,11]”这一观点。拟合各种类型核畸变率与剂量间相关方程见表5。

表4 ^{60}Co γ 射线辐照对毛竹根尖细胞核畸变的影响Table 4 Effects of ^{60}Co γ -irradiation on nuclear aberration of root tip cell of Moso

核畸变类型 nuclear aberrant type	剂量 dose(Gy)						
	0	30	60	90	120	150	180
观察细胞总数 total number of cells	10481	10173	10106	10028	10413	10227	10261
微核率 rate of micronucleus(%)	0	1.179	3.067	4.288	5.474	6.454	7.699
小核率 rate of minornucleus(%)	0	0.098	0.099	0.199	0.384	0.587	0.877
双核率 rate of double nucleus(%)	0	0	0.099	0.199	0.288	0.489	0.682
核出芽率 rate of nuclear budding (%)	0	0	0	0.100	0.096	0.196	0.292
核耳出现否 nuclear bleb	-	-	-	-	+	+	+
核裂出现否 nuclear fragmentation	-	-	-	-	+	+	+
核畸变率 rate of nuclear aberration(%)	0	1.277	3.265	4.786	6.242	7.726	9.550

表5 核畸变率(Y)与剂量(X)间相关方程

Table 5 Correlation equation between rate of nuclear aberration(Y) and irradiation dose(X)

畸变类型 type of aberration	方程 equation	相关系数(R^2) correlation coefficient	F 值 F value
微核 micronucleus	$Y = 0.0429X + 0.1601$	0.9923	643.91
小核 minornucleus	$Y = 0.0046X - 0.0966$	0.9014	45.70
双核 double nucleus	$Y = 0.0038X - 0.0933$	0.9320	68.55
核出芽 nuclear budding	$Y = 0.0016X - 0.0484$	0.8736	34.56
核畸变 nuclear aberration	$Y = 0.0530X - 0.0783$	0.9982	2779.36

3 结论与讨论

本研究的试验数据表明,从细胞有丝分裂指数、染色体畸变率、核畸变率诱变指标的细胞学水平上判断,对于含水率在10%左右的毛竹种子,剂量率1.86Gy/min时,90~150Gy为适宜的辐照剂量。这与蔡春菊等人^[12,13]的结论基本一致。

因 γ 射线辐照毛竹种子过程中,能量沉积会引起毛竹根尖细胞不同程度的辐照损伤,这不仅引起了细胞外部形态结构的改变,而且还影响到细胞内部主要是核和染色体结构乃至DNA遗传物质的变化,引起遗传物质的损伤^[14,15]。细胞核是辐照的主要部位,染色体是生物遗传物质的主要载体,本试验研究结果进一步表明:

(1)在本试验剂量范围内,低剂量(<60Gy) γ 射线

辐照对毛竹根尖细胞有丝分裂有促进和刺激效应^[9];高剂量(>90Gy)辐照对毛竹根尖细胞有丝分裂有一定的抑制作用。从细胞学角度考虑,细胞分裂加快或提前,细胞周期缩短,代谢更趋活跃,是刺激效应表现的主要原因;细胞分裂延缓,辐照引发细胞暂时或永久失去分裂能力,是抑制效应产生的主要原因。

(2)⁶⁰Co γ射线辐照毛竹种子均能诱发 M₁ 根尖细胞染色体畸变和核畸变。染色体变异以结构变异为主,主要是染色体桥和断片;核畸变变异类型丰富,但主要是微核。染色体畸变和核畸变的类型及频率不同,反映出毛竹根尖细胞受 γ射线辐照的细胞学诱变效应。这种效应表现在不同剂量或同一种剂量辐照下可产生不同的畸变类型^[16],这是由于辐照时根尖细胞所处的时期、辐照的部位以及染色体辐照敏感性不同等差异所致。但在同一细胞内辐射对染色体的作用是非随机的^[10,17]。染色体畸变率和核畸变率随辐照剂量增加而增大,与剂量间呈正相关。其原因是辐照剂量越大,细胞中能量沉积越多,损伤也就越重^[18,19],从而增加了畸变频率。染色体畸变率与剂量间关系为:线性方程式 $Y = 0.0392X - 0.4313$, 相关系数 R_2 为 0.8875, $F = 39.44 > F_{0.01}$, 极显著相关;核畸变率与剂量间关系为:线性方程式 $Y = 0.0530X - 0.0783$, 相关系数 R_2 为 0.9982, $F = 2779.36 > F_{0.01}$, 极显著相关。

(3)在 >150Gy 剂量辐照时,胚根根尖细胞出现多种复合畸变类型,表明细胞损伤加重,影响种子的萌发和生长。特别是剂量为 180Gy 时,生长点损伤严重,根尖发黄、褐色、萎缩,甚至有的卷曲、发霉,以致很难长出幼苗,根系生长停滞。

(4)通过对毛竹根尖细胞染色体畸变率与间期微核率相关分析,线性表达式为 $Y = 0.8836X - 0.4525$, 相关系数为 0.8345, $F = 25.22 > F_{0.01}$, 表明两者存在着高度相关性,这与沈光平等人^[11]研究结果一致。

参考文献:

[1] 杨校生,吴良如,李正才,傅懋毅.毛竹林经济和生态公益价值综

- 合评价.竹子研究汇刊,2006,26(1):1~5
- [2] 陈光才,马乃训.竹子遗传育种研究进展.林业科学研究,2005,18(6):749~754
- [3] 徐冠仁.植物诱变育种学.北京:中国农业出版社,1996:1~3
- [4] 高健,彭镇华.⁶⁰Co γ射线辐射中国水仙的细胞学诱变效应.激光生物学报,2006,15(2):179~183
- [5] 杨茹冰,张月学,徐香玲,李集临,张弘强,王继华,韩微波,唐凤兰,刘杰淋,李道明,蒿若超,申忠宝.⁶⁰Co γ射线辐射紫花苜蓿种子的细胞生物学效应研究.核农学报,2007,27:136~140
- [6] 敖妍,张国盛,鲁韧强,潘青华.扶芳藤种子与枝条的⁶⁰Co γ辐射效应.核农学报,2006,20(3):202~204
- [7] 卓仁英.竹子生物技术育种研究进展.浙江林学院学报,2003,20(4):424~428
- [8] 李伟成,盛碧云,王树东,钟哲科,丁雨龙,刘静.毛竹种子萌发对温度和光照的响应.竹子研究汇刊,2007,26(4):26~29
- [9] 王文恩,张俊卫,包满珠.⁶⁰Co γ辐射对野牛草干种子的刺激生长效应.核农学报,2005,19(3):191~194
- [10] 陆璃,吕金印,刘军,高俊凤.⁶⁰Co γ射线辐照对小麦种子根尖细胞有丝分裂的影响.西北农林科技大学学报,2005,9(33):57~62
- [11] 沈光平,王钦南,周祉祯.微核与染色体畸变的相关性.遗传,1985,7(1):15~17
- [12] 蔡春菊,高健,牟少华.⁶⁰Co γ辐射对毛竹种子活力及早期幼苗生长的影响.核农学报,2007,21(5):436~440
- [13] 周小梅,赵运林,蒋建斌.几种冷季型草坪草辐射敏感性及其辐射育种半致死剂量的确定.湘潭师范学院学报(自然科学版),2005,27(1):75~78
- [14] 王志芬,闰树林,苏学合.⁶⁰Co γ射线辐照菘蓝种子的生物学效应.核农学报,2006,20(1):47~48
- [15] WANG Lin-qing. Radiation breeding of crop in Japan. Atomic Agriculture Translation, 1983, 4(1):1~4
- [16] RAO G M. Mutagenic efficiency, effectiveness and factor of physical and chemical mutagen in rice. Cytologia, 1983, 48(3):427~436
- [17] Cermeno M C, Lacadena J R. C-banding analysis of gamma radiation-Induced chromosomal interchanges in rye. Chromosoma, 1985, 91:297~306
- [18] Ukai Y. Varietal difference in gamma-ray induced chromosome aberration in soybean. Jap J Genetics, 1980, 55:225~234
- [19] 周立人,吴雪琴,魏晓飞.⁶⁰Co γ射线辐照不同麻种种子的细胞学效应.安徽农业大学学报,2003,30(1):10~14